



①9 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 62 831 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 02 B 23/06**  
C 04 B 35/577  
G 02 B 23/16

②① Aktenzeichen: 199 62 831.9  
②② Anmeldetag: 23. 12. 1999  
④③ Offenlegungstag: 12. 7. 2001

**DE 199 62 831 A 1**

⑦① Anmelder:  
DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
e.V., 53175 Bonn, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Grimm, E., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 63075 Offenbach

⑦② Erfinder:  
Krenkel, Walter, Dr., 71272 Renningen, DE; Renz,  
Ralph, 71069 Sindelfingen, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 197 30 741 C1  
EP 04 32 618 A2  
DE-Z.: VDI Berichte Nr. 1080, 1994, S. 473-482;  
DE-Z.: Zeiss Inform., Oberkochen, 27, H. 94  
(1982) S.4-13;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Teleskop**

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Teleskop mit einem Primärspiegel und einem Sekundärspiegel, die einen Spiegelkörper aus einem ausdehnungsarmen Spiegelkörperwerkstoff aufweisen, bei dem der Sekundärspiegel von einer an einem Teleskoprohr befestigten Halterung in einem vorgegebenen Abstand zum Primärspiegel gehalten ist und bei dem das Teleskoprohr und die Halterung aus einem Werkstoff mit kleinem thermischen Ausdehnungskoeffizienten im Temperaturbereich  $\pm 75^\circ\text{C}$  gebildet ist, das dadurch gekennzeichnet ist, daß zumindest das Teleskoprohr aus C/C-SiC-Werkstoff gebildet ist und der thermische Ausdehnungskoeffizient des C/C-SiC-Werkstoffs an den thermischen Ausdehnungskoeffizienten des jeweils verwendeten Spiegelkörperwerkstoffs des Spiegelkörpers des Primärspiegels angepaßt ist, wobei der C/C-SiC-Werkstoff aus einem pyrolysierten und durch Flüssiginfiltration von Si keramisierten Vorkörper hergestellt ist, der aus kontinuierlichen Kohlenstofffasern hergestellt ist und der einen Gehalt an Silizium und Siliziumkarbid im Bereich von 30-70 Masse-% besitzt.

**DE 199 62 831 A 1**

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Teleskop mit einem Primärspiegel und einem Sekundärspiegel, die einen Spiegelkörper aus einem ausdehnungsarmen Spiegelkörperwerkstoff aufweisen, bei dem der Sekundärspiegel von einer an einem Teleskoprohr befestigten Halterung in einem vorgegebenen Abstand zum Primärspiegel gehalten ist und bei dem das Teleskoprohr und die Halterung aus einem Werkstoff mit kleinem thermischen Ausdehnungskoeffizienten im Temperaturbereich  $\pm 75^\circ\text{C}$  gebildet ist.

Ein solches Spiegelteleskop ist aus der DE-39 40 924 A1 bekannt. Bei diesem Spiegelteleskop sind der Primärspiegel und der Sekundärspiegel sowie alle deren Distanz festlegenden und beeinflussenden Bauteile aus demselben Werkstoff gefertigt, wobei es sich bei diesem Werkstoff bevorzugt um Zerodur (ist ein Produkt der SCHOTT Glaswerke, Mainz) handelt. Dieser Werkstoff "Zerodur" ist eine porenfreie, homogene Glaskeramik, die eine kristalline Phase und eine Restglasphase enthält. Die kristalline Phase liegt mit einem Anteil von 70 bis 78 Gew.-% vor und besitzt eine Hochquarzglasstruktur. Dieser Stand der Technik lehrt demzufolge, zur Anpassung der Wärmeausdehnungskoeffizienten der einzelnen Bauteile stets dieselben Materialien einzusetzen, d. h. es ist keine Materialvariation zwischen den einzelnen Baugruppen und Baukomponenten vorgesehen, da sich ansonsten erhebliche Probleme aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnungsverhalten ergeben können, beispielsweise in Form von Brennpunktverschiebung oder Verzugserscheinungen. Bewährte Spiegelmaterialien, wie Quarzglas und Zerodur oder auch über die Replizierertechnik hergestellte Spiegel, aus denen dann auch nach den Vorgaben des Stands der Technik das Teleskoprohr aufgebaut sein muß, führen zu einer Anordnung mit hohem Gewicht, die darüber hinaus spröde und damit bruchempfindlich ist und auch teuer herzustellen ist. Letztendlich werden diese Vorgaben nach dem Stand der Technik in Bezug auf die Anpassung der Wärmeausdehnungskoeffizienten nur dann tatsächlich erreicht, wenn die Materialien für die einzelnen Bauteile sogar derselben Charge entnommen sind.

Der Werkstoff "Zerodur", der vorstehend angeführt ist, kann außerdem aufgrund seiner sehr geringen Festigkeit nur mit entsprechend großer Wandstärke und unter hohem Fertigungsaufwand (Bearbeitung aus dem vollen) eingesetzt werden.

Ausgehend von dem vorstehend beschriebenen Stand der Technik und der damit zusammenhängenden Problematik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Teleskop zu schaffen, bei dem insbesondere das Teleskoprohr aus einem Material hergesteht werden kann, das nicht die angeführten Nachteile von Quarzglas und Zerodur aufweist, das aber gerade in Verbindung mit bekannten und sich im Einsatz bewährten, ausdehnungsarmen Spiegelkörperwerkstoffen, wie beispielsweise Quarzglas und Zerodur, eingesetzt werden kann, das insbesondere leichtgewichtig ist, eine hohe Festigkeit aufweist und eine kostengünstige Herstellung des Teleskops zuläßt.

Gelöst wird diese Aufgabe, ausgehend von einem Teleskop mit den eingangs genannten Merkmalen, dadurch, daß zumindest das Teleskoprohr aus C/C-SiC-Werkstoff gebildet ist und der thermische Ausdehnungskoeffizient des C/C-SiC-Werkstoffs an den thermischen Ausdehnungskoeffizienten des jeweils verwendeten Spiegelkörperwerkstoffs des Spiegelkörpers des Primärspiegels angepaßt ist, wobei der C/C-SiC-Werkstoff aus einem pyrolysierten und durch Flüssiginfiltration von Si keramisierten Vorkörper hergestellt ist, der aus kontinuierlichen Kohlenstoffasern hergestellt ist und der einen Gehalt an Silizium und Siliziumkar-

bid im Bereich von 30–70 Masse-% besitzt.

Es hat sich gezeigt, daß ein Teleskoprohr aus flüssig-siliziertem kohlenstofffaserverstärktem Kohlenstoff (C/C-SiC-Werkstoff) in seinem thermischen Ausdehnungskoeffizienten Werkstoffen, wie Quarzglas und Zerodur, anpaßbar ist, so daß ein derartiges Teleskoprohr mit einem Primärspiegel und einem Sekundärspiegel den herkömmlichen Spiegelmaterialien, wie Quarzglas, Zerodur oder in der Replizierertechnik hergestellte Spiegel, anpaßbar ist. Das Teleskoprohr aus dem erfindungsgemäßen Werkstoff zeichnet sich durch sein geringes Gewicht und dennoch hoher, massenspezifischer Festigkeit aus. Insbesondere ist aber hervorzuheben, daß dieser Werkstoff in seinem Wärmeausdehnungskoeffizienten dem Spiegelkörperwerkstoff anpaßbar ist. Hierbei ist wesentlich, daß das Teleskoprohr einen Aufbau aus kontinuierlichen Kohlenstoffasern aufweist mit einem Gehalt an Silizium und Siliziumkarbid im Bereich von 30–70 Masse-%. Grundsätzlich ist festzustellen, daß hohe Si- und SiC-Gehalte (entsprechend einer hohen Aufnahme von Silizium beim Silizieren) zu höheren Ausdehnungskoeffizienten führen. Eine Steigerung der Si- und SiC-Gehalte bedeutet darüber hinaus eine zunehmende Versprödung des Werkstoffs, d. h. Festigkeit bzw. Bruchdehnung werden reduziert und die Werkstoffsteifigkeit wird entsprechend erhöht, so daß der Erhöhung des Si- bzw. SiC-Gehalts aus technischer Sicht Grenzen gesetzt sind. Zu niedrige Si- und SiC-Gehalte von unter 30 Masse-% führen hingegen zu einem zu kleinen oder sogar negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten, da Kohlenstoffasern in ihrer Längserstreckung, je nach Graphitierungsgrad, einen mehr oder weniger hohen, negativen Wert der Wärmeausdehnung aufweisen.

Durch die Wahl und die Anordnung der Fasern des Vorkörpers sowie die definierte Einstellung des Anteils an Silizium und Siliziumkarbid, unter der Maßgabe, daß deren Gehalt nicht mehr als 30 bis 70 Masse-% beträgt, sind Wärmeausdehnungskoeffizienten erreichbar, die denjenigen von Quarzglas, Zerodur oder nach der Replizierertechnik hergestellten Spiegeln exakt entsprechen. Von Vorteil ist das geringe Gewicht, das mit dem erfindungsgemäß aufgebauten Teleskoprohr erreicht werden kann. Der erfindungsgemäße Werkstoff C/C-SiC (flüssig-silizierter, kohlenstofffaserverstärkter Kohlenstoff), der zumindest für das Teleskoprohr eingesetzt wird, besitzt ein spezifisches Gewicht von etwa  $2 \text{ g/cm}^3$ . Dies ist ein geringerer Wert, verglichen mit Quarzglas, das ein spezifisches Gewicht von etwa  $2,2 \text{ g/cm}^3$  aufweist, mit Zerodur, das ein spezifisches Gewicht von  $2,5 \text{ g/cm}^3$  aufweist, oder mit  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , das ein spezifisches Gewicht von  $3,2 \text{ g/cm}^3$  aufweist. Da verglichen mit Quarzglas, Zerodur oder  $\text{Si}_3\text{N}_4$  der C/C-SiC-Werkstoff eine weitaus höhere, zulässige Festigkeit aufweist, können Gewichtseinsparungen für das Teleskoprohr erzielt werden. Durch die höhere Bruchzähigkeit und die damit möglichen kleineren Wandstärken reduzieren sich die Massen zusätzlich zugunsten eines Teleskoprohrs aus dem C/C-SiC-Werkstoff. Dünnwandige, tragende Strukturen mit Wandstärken kleiner 3 mm sind, im Gegensatz zu C/C-SiC-Werkstoffen, dann wenn sie aus Quarzglas, Zerodur oder  $\text{Si}_3\text{N}_4$  hergestellt werden, wenn überhaupt, nur unter hohem, fertigungstechnischem Aufwand herstellbar.

Um einen Einfluß auf die Festigkeit des Teleskoprohrs und die Halterung zu nehmen, sollten als Kohlenstofffasern zum Aufbau dieser Teile solche mit einem E-Modul von 200 000 bis 250 000 N/mm<sup>2</sup> (200 bis 250 GPa) eingesetzt werden, die auch als hochfeste oder HT-Fasern bezeichnet werden. Gerade solche Kohlenstofffasern bewirken darüber hinaus, daß im Vergleich zu höher moduligen Kohlenstofffasern der Ausdehnungskoeffizient des C/C-SiC-Werkstoffs nicht zu niedrig, eventuell sogar negativ, ist.

Unter dem vorstehend angeführten Aspekt der Anpassung der Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen einem Spiegelkörperwerkstoff, insbesondere für einen Primärspiegel, und einem Teleskoprohr wird für einen Spiegelkörper aus einer porenfreien, homogenen Glaskeramik, zum Beispiel Zerodur, die eine kristalline Phase und eine Restglasphase enthält, wobei die kristalline Phase 70–78 Gew.-% beträgt und eine Hochquarzglasstruktur besitzt, zur Einstellung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten des C/C-SiC-Werkstoffs auf  $(0,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  der mit Polymer getränkte Vorkörper aus den vorstehend angegebenen, hochfesten Fasern (HT-Fasern) bzw. solchen mit einem niedrigen E-Modul bei einer Temperatur von etwa 1650°C in Schutzgasatmosphäre pyrolysiert. Der geforderte Wärmeausdehnungskoeffizient wird maßgeblich durch die Temperatureinstellung beim Pyrolysieren und durch die Einstellung des Gehalts von Si und SiC zwischen 30 und 70 Masse-% erreicht; neben der Pyrolyse-Temperatur bestimmen noch Fasertyp, Fasergehalt und winkelmäßige Orientierung der Fasern in den einzelnen Schichten den geforderten Wärmeausdehnungskoeffizienten.

Für einen Spiegelkörperwerkstoff aus Quarzglas wird zur Anpassung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des C/C-SiC-Werkstoffs auf  $(0,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  der aus HT-Kohlenstofffasern aufgebaute Vorkörper vor seiner Tränkung mit dem Polymer bei Temperaturen zwischen 750 und 900°C für einen Zeitraum von 30–120 Minuten ausgelagert und nach seiner Tränkung mit dem Polymer bei einer Temperatur von etwa 900°C in Schutzgasatmosphäre pyrolysiert.

Schließlich wird für einen Primärspiegel, der in Replizieretechnik gefertigt ist und dessen Grundwerkstoff aus  $\text{Si}_3\text{N}_4$  besteht, zur Einstellung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten des C/C-SiC-Werkstoffs auf  $(1,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  der aus HT-Kohlenstofffasern aufgebaute Vorkörper vor seiner Tränkung mit dem Polymer bei Temperaturen vor seiner Tränkung mit dem Polymer bei Temperaturen zwischen 900–1100°C für einen Zeitraum von 30–120 Minuten ausgelagert und nach seiner Tränkung mit dem Polymer bei einer Temperatur von etwa 900°C in Schutzgasatmosphäre pyrolysiert.

Die Herstellung von Spiegel in Replizieretechnik erfolgt nach folgendem Prinzip: eine Form wird mit einem spiegelnden Material (einem Metall, zum Beispiel Gold, Silber oder Aluminium) bedampft, wodurch eine sehr dünne Schicht erzeugt wird. Danach wird die Form mit Epoxidharz und einem Spiegelgrundwerkstoff befüllt. Nach der Aushärtung erfolgt die Entformung.

Neben dem Teleskoprohr ist vorzugsweise auch die Halterung, insbesondere für den Sekundärspiegel, aus dem gleichen Werkstoff wie das Teleskoprohr hergestellt. Gerade die Halterung des Sekundärspiegels stellt ein kritisches Bauteil bei einem Teleskoprohr dar, da die Halterung besonders leicht und filigran aufgebaut sein sollte, um einen ungestörten, optischen Strahlengang zu gewährleisten.

Aufgrund der bevorzugten Bildung des Vorkörpers durch Tränkung mit einem aromatischen Polymer mit einem C-Gehalt von größer 60 Masse-% wird erreicht, daß die Tränkung und nachfolgende Pyrolyse nur einmal durchgeführt werden müssen; außerdem kann die Volumenänderung der dünnwandigen Bauteile gering gehalten werden. Es ergeben sich hochgenaue Bauteile. Außerdem ermöglicht der hohe C-Gehalt nach der Pyrolyse die technisch einfache Einstellung des bevorzugten Bereichs an Si und SiC von 30 bis 70 Masse-%, da kurze Prozeßdauern und niedrige Temperaturen während des Silizierens möglich sind. Es können somit niedrige Herstellkosten erzielt werden.

Weiterhin ist es zu bevorzugen, die Kohlenstofffasern in

zweidimensionalen Faserschichten bzw. -geweben anzuordnen. Die Ausrichtung der Fasern sollte hierbei geschichtet in Umfangsrichtung des Teleskoprohrs erfolgen, beispielsweise durch Wickeln von Gewebefasern, erfolgen.

Das erfindungsgemäße Material zum Aufbau des Teleskoprohrs und/oder der Halterung bietet die Möglichkeit, in einfacher Weise Nuten oder Schlitze zur Aufnahme eines Endteils der Halterung auszubilden. Eine solche Profilierung der entsprechenden Teile kann bereits in einer Vorform des Halterrohrs und/oder der Halterung erfolgen, wobei die pyrolysierten Vorkörper zum Beispiel mit Diamantwerkzeugen bearbeitet werden, also in einem Werkstoffzustand, der einfacher und schneller als der fertige C/C-SiC-Werkstoff zu bearbeiten ist. Die Nuten oder Schlitze können in keramisiertem Zustand nochmals nachbearbeitet werden und dienen einer formschlüssigen, d. h. sehr stabilen und festen, Verbindung der Einzelteile miteinander.

Falls auch die Halterung des Teleskoprohrs aus dem erfindungsgemäßen C/C-SiC-Werkstoff hergestellt wird, ist die vorteilhafte Möglichkeit gegeben, die Halterung und das Teleskoprohr durch Verkleben, beispielsweise mit Epoxidharz, und/oder Reaktionssilizieren zu verbinden. Beim Reaktionssilizieren werden Verbindungsschichten erzeugt, die Siliziumkarbid enthalten. Die Halterung selbst, insbesondere diejenige für den Sekundärspiegel, wird üblicherweise aus dem vollen herausgearbeitet. Hieraus ergibt sich zwangsläufig ein hoher Fertigungsaufwand. Das erfindungsgemäße C/C-SiC-Material hat den Vorteil, daß verschiedene, einfach herzustellende Einzelbauteile für die Halterung mittels einer Fügepaste fixiert werden können, die ein organisches Bindemittel mit einem Pyrolyserückstand von mindestens 30 Gew.-% und Kohlenstoffpulver einer Teilchengröße unterhalb 15 µm enthält. Nach Verbinden der einzelnen pyrolysierten Teile mittels der Fügepaste wird die Fügepaste einer thermischen Behandlung unterworfen, bevorzugt in einem Temperaturbereich von 80°C bis 250°C. Durch die anschließende Si-Infiltration und Reaktion zwischen Si und dem Kohlenstoff wird dann die Halterungsstruktur fertiggestellt. Mit einer solchen Reaktionssilizierung wird eine homogene Materialstruktur erreicht.

Zur Herstellung des Teleskoprohrs wird vorzugsweise ein Vorkörper aufgebaut, der im Außenwandbereich Wicklungen aus Kohlenstofffasern mit unterschiedlichen Faserwinkeln gegenüber den Wicklungen im Innenwandbereich aufweist. Es sollte in Bezug auf den Faserwinkel beachtet werden, daß dieser im Außenwandbereich kleiner als im Innenwandbereich liegt, und zwar in Bezug auf die Achse des Teleskoprohrs.

Die bevorzugten Faserwinkel eines Fasergewebes sollten im Außenwandbereich des Teleskoprohrs bei  $\pm 45^\circ$  liegen, während sie in dessen Innenwandbereich  $0/90^\circ$  betragen.

Gerade mit diesen Winkeln wird erreicht, daß einerseits hohe Festigkeiten und andererseits delaminationsfreie Teleskoprohre erzielt werden können.

Nachfolgend wird die Herstellung eines Teleskoprohrs mit Halterung anhand der Zeichnungen erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 ein Flußdiagramm der einzelnen Verfahrensschritte des Herstellverfahrens,

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht des nach dem Verfahren hergestellten Teleskoprohrs mit Halterung,

Fig. 3A und 3B zwei unterschiedliche Varianten zum Verbinden des Teleskoprohrs mit der Halterung des Sekundärspiegels,

Fig. 4A die Einzelbauteile der Halterung, wie sie für die Anordnung der Fig. 2 eingesetzt wird, in einer perspektivischen Darstellung, und

Fig. 4B die Halterung in einer Draufsicht, die aus den

Bauteilen, wie sie in Fig. 4A dargestellt sind, zusammengesetzt ist.

Die Herstellung des Teleskoprohrs gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt die folgenden Verfahrensschritte, wobei auf Fig. 1 Bezug genommen wird. Zunächst werden in einer ersten Verfahrensstufe S1 die Ausgangsmaterialien bereitgestellt, d. h. die Gewebematten aus Kohlenstofffasern vom Typ HT, erhältlich von der Firma Tenax Fibers GmbH, Wuppertal, DE, unter der Typenbezeichnung HTA, und ein Prekursor, bei dem es sich um ein hocharomatisches Einkomponentenharz mit einem C-Gehalt nach der Pyrolyse bei 900°C von ca. 63% handelt.

Aus den Kohlenstofffasergeweben werden die Grundbauteile für das Teleskoprohr 1 mit Halterung 2 geformt, wobei die rohrförmigen Teile aus den Geweben gewickelt werden, während die platten- oder stabförmigen Teile durch schichtweises Aufeinanderlegen der Kohlenstofffasermatten vorbereitet werden. Hierbei werden die so vorbereiteten Formkörper einem Harzinjektionsverfahren (RTM-Verfahren), einem Autoklav- oder einem Wickelverfahren unterworfen, wobei die Prekursoren polymerisieren, d. h. vernetzen und aushärten. Bevorzugt werden Fasergehalte von ca. 60% Volumen-% des Formkörpers eingestellt.

Die Temperatur während dieses Verfahrensschritts beträgt bis zu 250°C.

Nach Durchführen des Verfahrensschritts S2 ergeben sich in einer Zwischenstufe S3 CFK-Grünkörper, die bereits in ihrer Geometrie weitgehend Endabmessungen entsprechen, oder die durch Nachbearbeitung weitgehend in die Endkontur gebracht werden. So wurden auch an den Enden des Teleskoprohrs bereits ringförmige Aufdickungen 3 ausgebildet, wie sie auch in Fig. 2 zu sehen sind, um in den Innenumfang die Halterungen 3 einsetzen zu können.

Die vorbereiteten CFK-Grünkörper werden dann in einem Schritt S4 pyrolysiert, und zwar bei Temperaturen im Bereich von 900°C–1650°C und unter Schutzgas. Es erfolgt hierbei eine thermische Umwandlung der Polymer-Matrix zu amorphem Kohlenstoff. Aufgrund der Volumenschrumpfung der Matrix und der Dehnungsbehinderung durch die Kohlenstofffasern entsteht ein charakteristisches Mikrorißsystem mit translaminaren Kanälen und einer offenen Porosität von ca. 20%.

Die bei der Pyrolyse auftretende Volumenschrumpfung ist bei der Auslegung der Abmessungen der Bauteile gesondert zur berücksichtigen. Bei dickeren Rohren bzw. bei den Aufdickungen, wie sie das Teleskoprohr aufweist (Wandstärken ca. 2–4 mm), ist dies besonders kritisch. Durch unterschiedliche Faserwinkel (außen  $\pm 45^\circ$ , innen  $0/90^\circ$ ) wird eine stärkere, radiale Schrumpfung der äußeren Lagen erreicht, womit großflächige Delaminationen während der Pyrolyse vermieden werden können.

Nach der Pyrolyse der einzelnen Bauteile werden die einzelnen Komponenten bearbeitet und gefügt. Die einzelnen Bauteile, aus denen die Halterung 2 zusammengesetzt ist, werden ebenfalls bearbeitet und zusammengesetzt, wie dies auch anhand der Fig. 4A und 4B zu sehen ist.

Die Bearbeitung der einzelnen Bauteile im C/C-Zustand hat den Vorteil, daß aufwendige und folglich kostenintensive Nachbearbeitungsschritte im harten, keramischen Zustand weitgehend vermieden werden.

Die einzelnen Teile werden mit einer speziellen Paste, die vorzugsweise Kohlenstoff enthält, gefügt. Anschließend werden alle Bauteile, d. h. sowohl diejenigen mit den Standardgeometrien als auch die gefügten Teile, im Schritt S6 einer Silizierung unterworfen. Hierbei wird in die aufgrund der Pyrolyse erzeugte Mikrorißstruktur unter Vakuum und bei Temperaturen oberhalb von 1420°C flüssiges Silizium infiltriert. Die Reaktion zwischen dem Kohlenstoff und der

Siliziumschmelze führt zu einem Gefüge bestehend aus C-Fasern und einer Matrix aus C, SiC und freiem, nicht reagiertem Si, wobei der Gehalt an SiC dadurch beeinflußt werden kann, daß mit zunehmender Prozeßdauer und -temperatur der SiC-Gehalt größer wird.

Unter Beachtung der vorstehenden Kriterien wird für ein  $\alpha = 0$  keine Wärmeverbehandlung der C-Fasern des Gewebes vorgenommen, die Pyrolyse wird bei etwa 1650°C durchgeführt und die Siliziertemperatur wird auf größer 1420°C eingestellt. Es wird ein Gehalt an Si und SiC von ca. 35–40 Masse-% erreicht.

Für das Erzielen eines Wärmeausdehnungskoeffizienten  $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$  erfolgt die Wärmeverbehandlung der C-Fasern des Gewebes bei Temperaturen im Bereich von 750 bis 900°C, die Pyrolyse-Temperatur wird auf etwa 900°C eingestellt und die Siliziertemperatur liegt oberhalb von 1420°C. Es wird ein Gehalt an Si und SiC von etwa 50 Masse-% erreicht.

Zum Erreichen eines Wärmeausdehnungskoeffizienten  $\alpha = 1,0 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$  erfolgt die Wärmeverbehandlung der C-Fasern des Gewebes bei Temperaturen im Bereich von 900 bis 1100°C, die Pyrolyse-Temperatur wird auf etwa 900°C eingestellt und die Siliziertemperatur liegt oberhalb von 1420°C. Es wird ein Gehalt an Si und SiC von etwa 60 Masse-% erreicht.

Die Haltezeiten betragen bei Siliziertemperatur jeweils maximal 2 Stunden, während die Pyrolyse keine Haltezeiten erfordert.

Bauteile, die zuvor aus Einzelbestandteilen zusammengefügt wurden, zeigen nach der Infiltration von flüssigem Silizium an den Verbindungsstellen Eigenschaften, die sowohl mechanisch als auch thermisch mit der maximalen Einsatzgrenze des C/C-SiC-Werkstoffs vergleichbar sind (Verfahrensstufe 7).

Schließlich erfolgt noch in einem Verfahrensschritt S8 die Endbearbeitung beispielsweise mit Diamantwerkzeugen.

Abschließend können Teleskoprohr und Halterung (zum Beispiel als mehrarmiger Spider ausgeführt), sofern sie nicht dauerhaft mit der oben beschriebenen Fügetechnik gefügt wurden, auch durch bekannte Klebetechniken im silizierten Zustand verbunden werden.

Die konstruktive Ausgestaltung des Teleskoprohrs ist in Fig. 2 gezeigt. Das Teleskoprohr besitzt eine gesamte Länge von etwa 220 mm und einen Außendurchmesser von etwa 144 mm, mit einer Wandstärke, die im mittleren Bereich 2 mm beträgt, während sie im Bereich der Aufdickungen 4 mm beträgt. Die Aufdickungen 3 selbst besitzen in der Richtung der Achse des Teleskoprohrs 1 gesehen eine Länge von etwa 20 mm. In der oberen Aufdickung 3 des Teleskoprohrs 1, wie es in Fig. 2 zu sehen ist, ist eine Halterung 2 aufgenommen, die einen zylindrischen, mittleren Zentralteil 7 sowie drei sich tangential vom Außenumfang erstreckende Arme 5 aufweist, wie dies auch in den Fig. 4A und 4B zu sehen ist. Die Befestigung der Halterung bzw. des Spiders 2 kann, entsprechend Fig. 3A, mit den Enden der Arme 5 in Nuten 6, so daß nach außen ein geschlossener Ring im Bereich der Aufdickung 3 verbleibt, oder entsprechend Fig. 3B mit Schlitz 4 in der ringförmigen Aufdickung 3, in die die Arme 5 eingesteckt sind, erfolgen. Die Halterung 2, wie sie in den Fig. 4A und 4B zu sehen ist, dient insbesondere zur Veranschaulichung, wie ein solcher Halter 2 aus den einzelnen Teilen, d. h. dem Zentralteil 7 und den drei Armen 5, aufgebaut werden kann. In dem gezeigten Beispiel wurde die Höhe der Arme 5 bzw. des Zentralteils 7 auf 10 mm festgelegt, wobei die Wandstärke der Arme 2 mm betrug. Darüber hinaus sind in dem Zentralteil 7 Durchgangsbohrungen 8 ausgebildet, die dem Zweck dienen, den Sekundärspiegel zu befestigen.

In Fig. 4A sind schematisch auch die Faserorientierungen der Fasermatten aus Geweben angedeutet. In dem Zentralteil 7 sind die Matten in Richtung der Achse des Teils übereinander gestapelt; in den Armen 5 sind die einzelnen Mat-  
 5 tenlagen in der Dickenrichtung der Arme geschichtet. Die vier Einzelteile des Spiders wurden aus ebenen Platten im C/C-Zustand (kohlenstofffaserverstärkter Kohlenstoff) herausgearbeitet, wobei die drei Arme 5 aus einer Platte mit der  
 10 Wandstärke 2 mm und der Zentralkörper 7 aus einer 10 mm dicken Platte herausgebohrt wurde. Die Einzelteile weisen also eine entsprechend ihrer Belastung und ihrem Ausdehnungsverhalten angepaßte Faserorientierung, jeweils parallel zur Ebene ihrer größten Erstreckung, auf.

#### Patentansprüche

1. Teleskop mit einem Primärspiegel und einem Sekundärspiegel, die einen Spiegelkörper aus einem ausdehnungsarmen Spiegelkörperwerkstoff aufweisen, bei dem der Sekundärspiegel von einer an einem Teleskoprohr befestigten Halterung in einem vorgegebenen Abstand zum Primärspiegel gehalten ist und bei dem das Teleskoprohr und die Halterung aus einem Werkstoff mit kleinem thermischen Ausdehnungskoeffizienten im Temperaturbereich  $\pm 75^\circ\text{C}$  gebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest das Teleskoprohr aus C/C-SiC-Werkstoff gebildet ist und der thermische Ausdehnungskoeffizient des C/C-SiC-Werkstoffs an den thermischen Ausdehnungskoeffizienten des jeweils verwendeten Spiegelkörperwerkstoffs des Spiegelkörpers des Primärspiegels angepaßt ist, wobei der C/C-SiC-Werkstoff aus einem pyrolysierten und durch Flüssiginfiltration von Si keramisierten Vorkörper hergestellt ist, der aus kontinuierlichen Kohlenstofffasern hergestellt ist und der einen Gehalt an Silizium und Siliziumkarbid im Bereich von 30–70 Masse-% besitzt.
2. Teleskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung des Sekundärspiegels aus dem gleichen Werkstoff wie das Teleskoprohr gebildet ist.
3. Teleskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Vorkörper mit einem aromatischen Polymer mit einem C-Gehalt von  $> 60$  Masse-% getränkt ist.
4. Teleskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Kohlenstofffasern solche mit einem E-Modul von 200 000 bis 250 000 N/mm<sup>2</sup> eingesetzt sind.
5. Teleskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kohlenstofffasern in Form zweidimensionaler Faserschichten vorliegen.
6. Teleskop nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten Gewebe aus Kohlenstofffasern sind.
7. Teleskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Teleskoprohr Schlitz- oder Nuten zur Aufnahme eines Endbereichs der Halterung des Sekundärspiegels aufweist.
8. Teleskop nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung des Sekundärspiegels und das Teleskoprohr durch Verkleben oder durch Reaktionslitzieren verbunden sind.
9. Teleskop nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung des Sekundärspiegels aus Einzelkomponenten besteht, die mit einer Fügepaste fixiert sind, die ein organisches Bindemittel mit einem Pyrolyserückstand von mindestens 30 Gew.-% mit Kohlenstoffpulver einer Teilchengröße unterhalb 15 µm enthält.
10. Teleskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

net, daß der Vorkörper für das Teleskoprohr im Außenwandbereich des Teleskoprohrs Wicklungen aus Kohlenstofffasern mit unterschiedlichen Faserwinkeln zu den Wicklungen des Innenwandbereichs aufweist.

11. Teleskop nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Faserwinkel des Fasergewebes im Außenwandbereich des Teleskoprohrs  $\pm 45^\circ$  und in dessen Innenwandbereich  $0/90^\circ$  beträgt.

12. Teleskop nach den Ansprüchen 3, 4 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelkörperwerkstoff aus einer porenfreien, homogenen Glaskeramik, die eine kristalline Phase und eine Restglasphase enthält, wobei die kristalline Phase 70–78 Gew.-% beträgt und eine Hochquarzstruktur besitzt, besteht, und daß zur Einstellung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten des C/C-SiC-Werkstoffs auf  $(0,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  der mit Polymer getränkte Vorkörper bei einer Temperatur von etwa  $1650^\circ\text{C}$  in Schutzgasatmosphäre pyrolysiert ist.

13. Teleskop nach Anspruch 3, 4 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelkörperwerkstoff aus Quarzglas besteht, und daß zur Einstellung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten des C/C-SiC-Werkstoffs auf  $(0,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  der aus Kohlenstofffasern schichtweise aufgebaute Vorkörper vor seiner Tränkung mit dem Polymer bei Temperaturen zwischen  $750$  und  $900^\circ\text{C}$  für einen Zeitraum von 30–120 Minuten ausgelagert und nach seiner Tränkung mit dem Polymer bei einer Temperatur von etwa  $900^\circ\text{C}$  in Schutzgasatmosphäre pyrolysiert ist.

14. Teleskop nach Anspruch 3, 4 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Primärspiegel in Replizierttechnik gefertigt ist und dessen Grundwerkstoff aus  $\text{Si}_3\text{N}_4$  besteht und daß zur Einstellung eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten des C/C-SiC-Werkstoffs auf  $(1,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$  der aus Kohlenstofffasern aufgebaute Vorkörper vor seiner Tränkung mit dem Polymer bei Temperaturen vor seiner Tränkung mit dem Polymer bei Temperaturen zwischen  $900$ – $1100^\circ\text{C}$  für einen Zeitraum von 30–120 Minuten ausgelagert und nach seiner Tränkung mit dem Polymer bei einer Temperatur von etwa  $900^\circ\text{C}$  in Schutzgasatmosphäre pyrolysiert ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

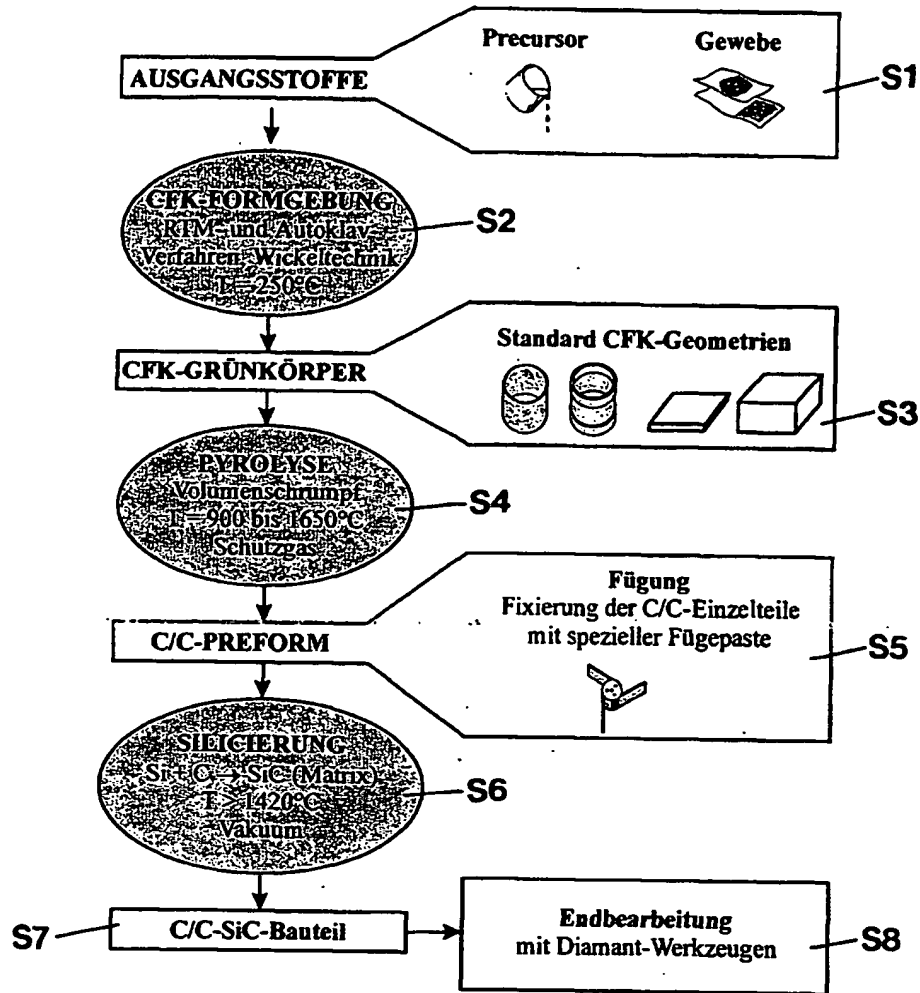


Fig. 1

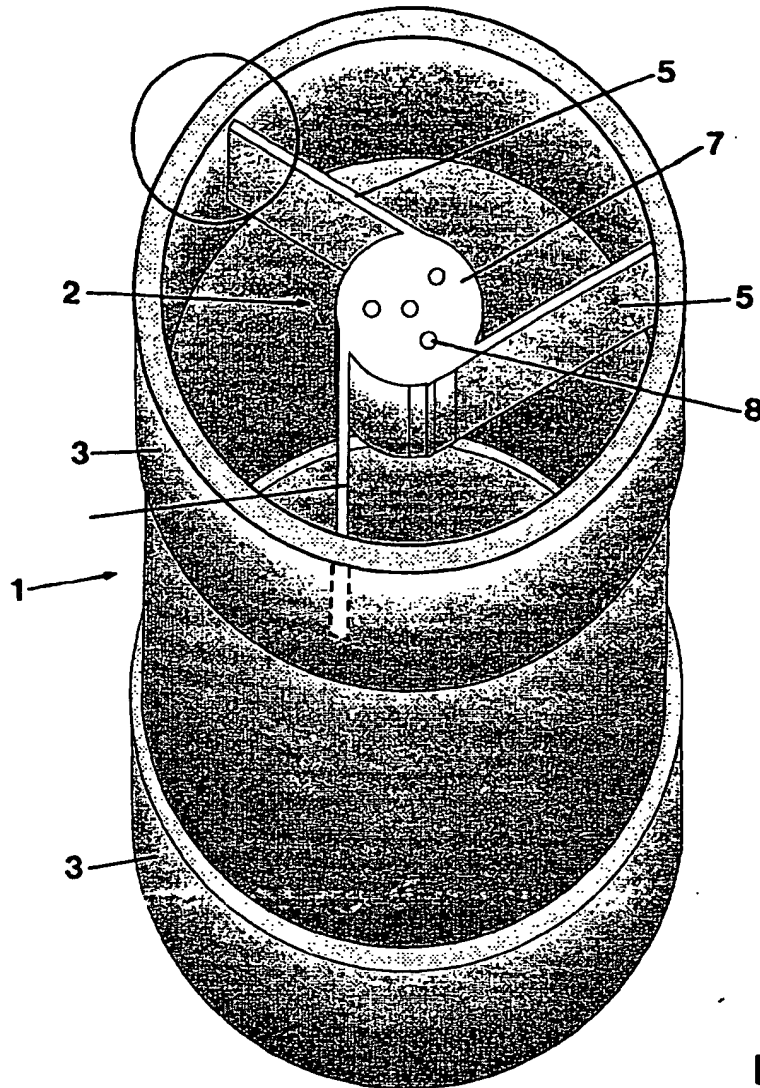


Fig. 2

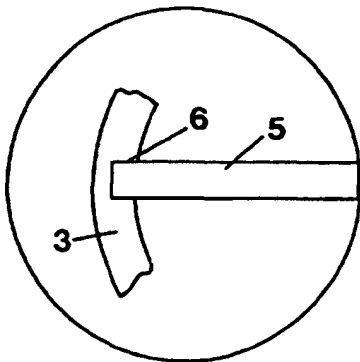


Fig. 3A

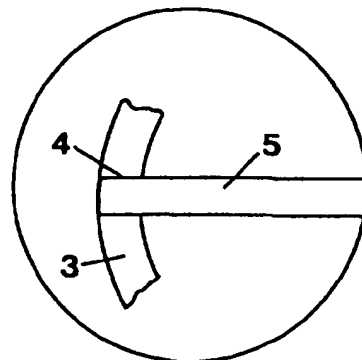


Fig. 3B

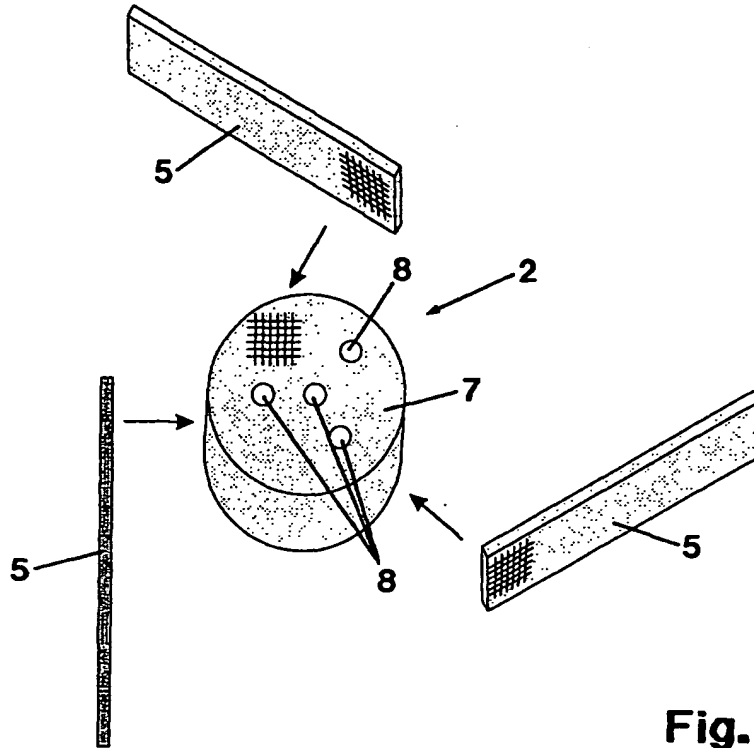


Fig. 4A

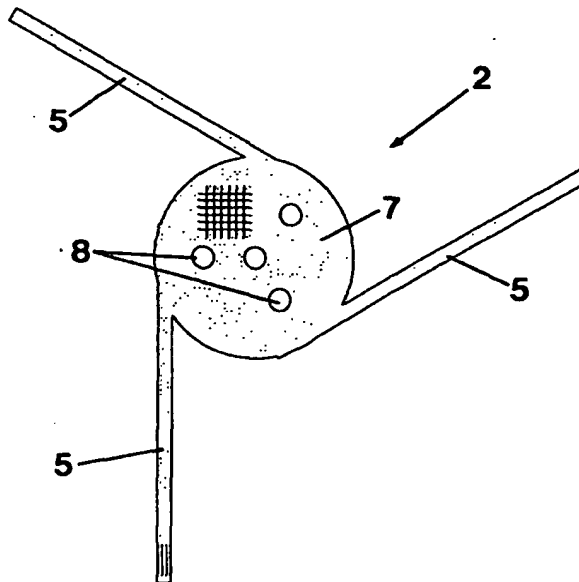


Fig. 4B